

基于 GIS 的沉降监测数据分析及其三维模拟

吴琳, 李天文

(西北大学 城市与资源学系, 陕西 西安 710069)

[摘要] 应用 GIS 专业软件 ArcView 中的空间分析和三维分析模块, 以西安超英大厦实测所获得的基础数据为例, 研究了通过对观测数据的综合处理和分析, 利用 DEM(数字高程模型)建立大厦沉降曲线图和沉降三维模拟图的方法, 并最终生成了目标图形。结果表明以 ArcView 生成沉降曲线图比传统方法更快捷、简单、准确, 沉降三维模拟图更直观、生动、逼真, 可及时、有效地将沉降信息和变形情况反映给项目决策者和施工人员以提高作业效率和精度, 从而为整个工程提供技术支持和决策依据, 是一种快速、准确表达沉降观测成果的有效方法。

[关键词] 沉降监测; 基准网; 建筑物; DEM; 三维模型

[中图分类号] P25; TU433 [文献标识码] A [文章编号] 1672-6561(2004)02-0067-04

[作者简介] 吴琳(1980-), 女, 陕西西安人, 硕士研究生, 现从事 GPS、GIS 研究工作。

改革开放以来, 我国城市建设发展非常迅速, 高层和超高层建筑不断建成, 这些建筑物在建设过程中及竣工后的安全, 已成为人们关注的问题。因此, 建筑物沉降变形监测成果便成为工程质量评价中的一个重要部分。以往的建筑物沉降变形监测获得的只是数据和图表成果, 没有三维模拟的表现形式, 不能直观地掌握大楼的变形情况, 笔者以西安市东关超英大厦为例(图1), 以 GIS 的专业软件 ArcView 为平台, 利用监测所获得的数据, 建立楼房沉降曲线图和三维模拟图。

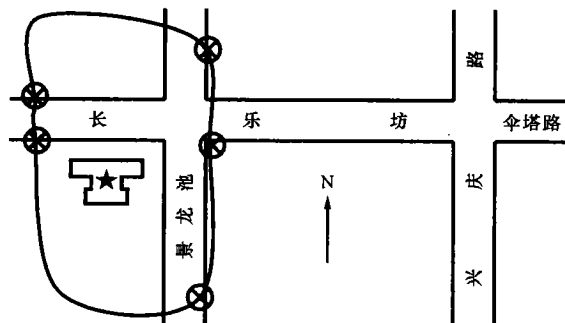


图1 沉降观测基准网布置

Fig. 1 Collocation of norm net of subsidence survey

1 沉降观测技术方案

1.1 基准点与沉降监测点的布设

建筑物沉降变形监测需布设基准点和变形观测点。基准点应布设在变形影响区之外地基稳定地区; 变形观测点直接布设在建筑物主体上, 以能体现整个建筑物的变形趋势为标准; 若基准点和观测点之间距离较远时, 则应布设工作点作为联测基准点与观测点的过渡点。

建筑物的沉降量是从基准点观测建筑物上的观测点得到的, 因此要求基准点稳固, 为此, 在该楼群下沉影响区域以外布设了5个基准点, 并构成基准网进行联测, 以监测其稳定性。

根据建筑物沉降观测点布设的一般原则, 并结合具体情况, 在该楼上布设13个沉降观测点(图2)。

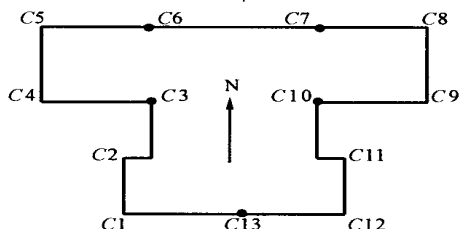


图2 沉降监测点布设

Fig. 2 Collocation of points subsidence survey

[收稿日期] 2003-06-05

[基金项目] 国家自然科学基金项目(40271089); 陕西省教育厅专项科研计划项目(02JK084)

1.2 最弱点的精度估算

沉降监测采用 Ni007 水准仪,按 II 等水准测量要求进行观测,测站高差中误差主要有置平误差 $m_{平}$ 、瞄准误差 $m_{瞄}$ 、读数误差 $m_{读}$,且三者是相互独立的,即

$$m_h^2 = 2(m_{平}^2 + m_{瞄}^2 + m_{读}^2) = 2\left(\frac{0.05\tau \times s}{\rho}\right)^2 + 2\left(\frac{15 \times s}{V \times \rho}\right)^2 + 2(0.1)^2, \tag{1}$$

式中: τ 为水准管分划值取 $10''$;复合气泡误差取 0.05τ ; s 为视线长,取 50 m ; V 为望远镜放大倍数,取 40 ,将以上数值代入式(1)得

$$m_h = \pm \sqrt{2\left(\frac{0.05 \times 10 \times 50 \times 10}{206 \times 265}\right)^2 + 2\left(\frac{15 \times 50 \times 10}{40 \times 206 \times 265}\right)^2 + 2(0.1)^2} = \pm 0.258\text{ mm}$$

闭合水准路线中间点即为高程最弱点。根据沉降观测水准测量路线,其高程最弱点为 $C13$ 点。从基准点到 $C13$ 点,以 6 个测站计,闭合水准路线中间点平差后的高程中误差为

$$m = \pm m_h \sqrt{\frac{n}{2}} = \pm 0.258 \times \sqrt{\frac{6}{2}} = \pm 0.447\text{ mm}. \tag{2}$$

若考虑到最不利的情况,按支水准路线精度计算

$$m = \pm m_h \sqrt{n} = \pm 0.258 \times \sqrt{6} = \pm 0.632\text{ mm}, \tag{3}$$

即最弱点 $C13$ 点的高程中误差为 0.632 mm ,小于根据变形观测精度要求并结合该楼实际情况所确定的沉降点的观测精度 1 mm ,即最弱点高程中误差 $m \leq \pm 1\text{ mm}$,说明所选用仪器及观测方法可以满足该工程沉降监测精度的要求。

2 沉降观测成果综合分析

通过对超英大厦沉降监测数据分析得出,该楼最大沉降量为 -13.2 mm ,其对应点为 $C9$;最小沉降量为 -10.6 mm ,其对应点为 $C2, C11$ 。累计平均沉降量为 -11.76 mm ,平均沉降速率为 0.016 mm/d ,其中,在主体施工过程中(约为 9 个月)其日平均沉降速率为 -0.06 mm ,主体施工完成后(2002 年 2 月 6 日封顶)其日平均沉降量明显减小,为 -0.01 mm ,小于规范规定的 0.04 mm ,由此可

见该大厦已趋于稳定状态。

2.1 沉降变形几何分析

根据沉降观测结果汇总表,以观测时间为横坐标,以平均累计沉降值为纵坐标,选择东侧($C8, C9, C11, C12$)4 个点,西侧($C1, C2, C4, C5$)4 个点,绘制出两侧平均沉降量变化曲线图(图 3)。从图 3 中可以看出大厦主体施工初期沉降速率较快,当大楼主体封顶后沉降速率明显减慢,明显反映出沉降的趋势、规律和幅度。

从图 3 中可以看出,该大楼沉降平稳、均匀。

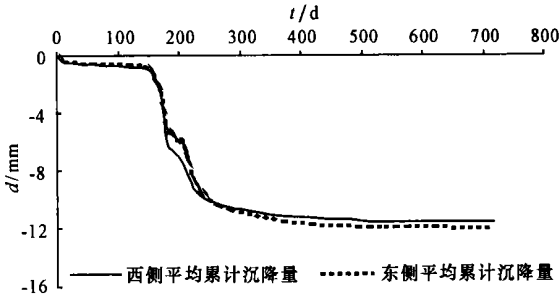


图 3 东西两侧沉降点变形曲线
Fig. 3 Curve of distortion of subsidence point on easterly and western side

2.2 沉降变形物理分析

在主体施工初期,由于大楼基础桩基还处于一种不稳定状态,当荷载增加时,其沉降速率较大,随着荷载的不断增加,大楼桩基下沉,逐渐趋于稳定状态。这时,虽然荷载不断增加,但沉降速率减慢。当大楼封顶后,荷载增加速率减慢,因此大楼沉降速率也变慢,到使用阶段,由于不再增加荷载,故基础沉降也将趋于平稳。

3 基于 GIS 的沉降监测数据分析

3.1 基于 ArcView 的沉降监测三维模拟

ArcView 整个系统由基本模块和可扩充功能模块构成,可扩充功能模块包括:空间分析模块、网络分析模块、三维分析模块、绘图输出模块、影响分析模块、追踪分析模块、ArcView 因特网发布模块,其中三维分析模块是这次实验的核心部分。

3.1.1 沉降监测三维模型建立步骤

(1)【View】→【New Theme】→【Polygon】,产生一个多边形主题,绘制出超英大厦的平面格网图。

(2)【View】→【New Theme】→【Point】,产生一个点主题,在大厦平面图上标绘出参与分析的东西

侧 8 个沉降监测点, 并均匀内插多个高程点。

(3)【Surface】→【Interpolate Grid】, 利用监测点和内插点生成 DEM (数字高程模型)。

(4) 打开【3D Scene】功能视窗, 将大厦的平面格网图和 DEM 都添加到视窗内, 【Theme】→【3D properties】, 通过改变此对话框内相应属性 Surface、Z factor、Offset heights by value or expression 来设置三维模型的参数。

3.1.2 超英大厦沉降监测结果三维模拟

由 ArcView 生成的数字高程模型 DEM 是表示区域上的三维向量有限序列, 用函数的形式描述为

$$V_i = (x_i, y_i, z_i) \quad (i = 1, 2, 3, \dots, n), \quad (4)$$

式中: x_i, y_i 为平面坐标, z_i 为 (x_i, y_i) 对应的高程。

研究建立 DEM 的方法是通过内插高程点生成的, 即在一个由 (x, y) 坐标平面构成的二维空间中, 由已知若干离散点 P_i 的高程, 估算待内插点的高程。DEM 内插包含了表面重建以及从重建表面提取高程信息的过程, 也包含了根据随机分布数据点或从规则格网中获取的高程量测值生成等高线的过程。DEM 内插方法主要有分块内插、剖分内插和单点移面内插, 此次采用的是分块内插中的最小二乘配置法, 它是一种基于统计的、广泛用于测量学科中的内插方法。在测量中, 某一个测量值包含着 3 部分:

(1) 与某些参数有关的值。由于测量值是这些参数的函数, 而这个函数在空间是一个曲面, 故称为趋势面。

(2) 不能简单地用某个函数表达的值, 称为系统的信号部分。

(3) 观测值的偶然误差, 或称为随机噪声。

若在一个子区域内共有 n 个数据点, 则每个数据点都能列出一个观测值方程式, 对于 n 个数据点, 根据相关平差原理, 列出 M_i 的误差方程组的矩阵形式

$$M = S + R = H - AW, \quad (5)$$

式中: M 为从趋势面起算参考点的高程; S 是实际地面与参考面的比较差; R 是参考点高程的量测误差; H 为参考点高程观测向量; AW 为趋势面上对应的高程向量。

按最小二乘法求解, 得到趋势面系数向量

$$W = [A^T C_{mm}^{-1} A]^{-1} [A^T C_{mm}^{-1} h],$$

任一内插点 i 的信号为: $s'_i = C_{sm}^T C_{mm}^{-1} M$,

式中: C_{mm} 是 M 的协方差矩阵。用待插点在趋势面上的高程加上待插点的信号即得所求待插点的高

程 $z_i = h'_i + s'_i$ 。

这种方法的优点是具有严密的数理统计理论依据, 可以得到光滑连续的空间曲面, 能较好地保留地物细节, 并通过块间重叠保持了内插面的连续性, 是应用中较常选用的策略。在重建的 DEM 上可以提取区域内任一点的高程值, 点击 DEM 便得到其属性对话框(图 4)。结合本研究实际情况, 就可以了解沉降面内各个点位的沉降量, 从而确定整个沉降面的变化趋势。

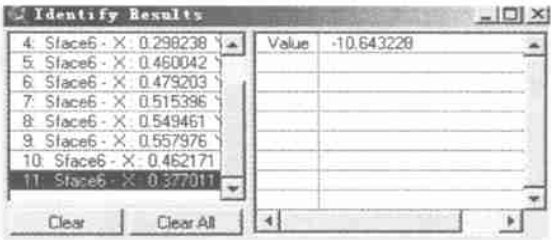


图 4 DEM 高程沉降数据

Fig. 4 Tabulation of subsidence elevation data on DEM

依照前述的建立步骤生成超英大厦沉降监测结果三维模拟图(图 5)。对此分析可知, 起始状态楼房未出现沉降, 其平面格网图呈水平态, 因此各点位的高程 z_i 都是相等的; 楼房沉降后, 由于各个点位的沉降幅度不同, 形成了沉降面的高低起伏变化, 沉降量越小的点位, 其高程值 z_i 越大, 距初始面距离越短, 反之同理, 相应点位对应的平面坐标 (x_i, y_i) 不改变。针对单个点位来说, 从开始沉降到稳定状态, 高程值 z_i 是呈递减趋势。通过改变 ArcView 点主题属性列表中的高程值, 来生成不同属性值的 DEM。在实测过程中, 可以将某一建筑物不同时期的观测数据分别生成 DEM 进行对比, 使

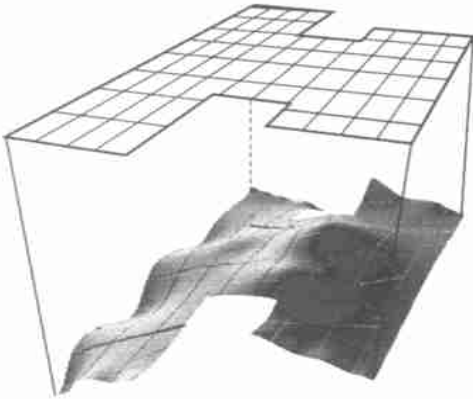


图 5 超英大厦沉降监测三维模拟

Fig. 5 Demo of three dimensional model of subsidence survey of Chaoying mansion

工作人员更加直观地掌握沉降信息和变形情况。

3.2 基于 ArcView 生成建筑物沉降曲线图

根据文献[6] 建筑物的沉降结果是通过变化高程的曲线来描述的。

3.2.1 建立方法

在利用监测点生成的 DEM 基础之上提取等高线并自动赋以高程值, 具体步骤【Surface】→【Create Contours】、【Theme】→【Auto-Label】。

3.2.2 沉降观测成果

图 6 为建筑物沉降曲线图, 它与传统的手工绘制法相比速度更快捷、内容更确切、外形更美观, 而为决策施工人员提供更准确可靠的信息。

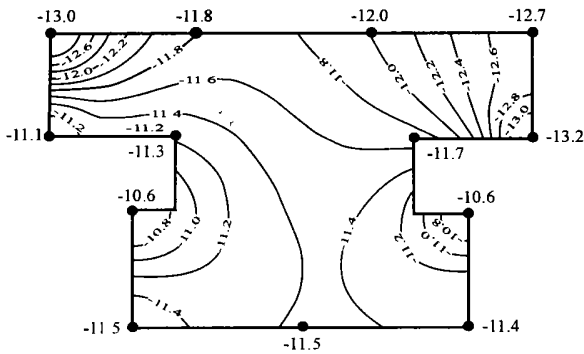


图 6 沉降观测结果

Fig. 6 Result of subsidence survey

4 结论

沉降曲线图和沉降动态三维模拟图的构建, 可提高作业效率, 使项目决策者和施工人员及时有效地获取沉降信息和变形情况, 从而提供技术支持和决策依据。但这只是初步性的探索, 在此基础之上还可结合其他相关学科的技术手段, 从而为施测结果的有效、及时和直观表达提供强大的技术支撑。

[参 考 文 献]

- [1] 李天文, 杨志强, 希文德, 等. 建筑场地施工对相邻建筑物变形影响规律研究[J]. 西安矿业学院学报. 1997, 17 (4): 357 ~ 360.
- [2] 李天文, 杨志强, 周季文, 等. 西安国贸大厦沉降监测方案设计与数据综合分析[J]. 西安工程学院学报. 1999, 21 (增刊): 71 ~ 73.
- [3] 汤国安, 陈正江, 赵牡丹, 等. ArcView 地理信息系统空间分析方法[M]. 北京: 科学出版社, 2002. 195.
- [4] 汤国安, 赵牡丹. 地理信息系统[M]. 北京: 科学出版社, 2000. 108.
- [5] 李志林, 朱庆. 数字高程模型[M]. 武汉: 武汉大学出版社, 2001. 130.
- [6] 中华人民共和国国家标准编写组. 工程测量规范[S]. 北京: 测绘出版社, 1993. 62.

Analysis of subsidence survey data and demo of three-dimensional model based on GIS

WU Lin, LI Tian-wen

(Dept. of Urban and Resource Science, Northwest University, Xi'an 710069, China)

Abstract Taking the basic data from Chaoying mansion in Xi'an city as an example method that apply professional software ArcView of GIS, to establish subsidence graph and three-dimensional simulated subsidence chart of is studied through synthetic processing and analysis. It is pointed that DEM can realize expression of above expectant production and create target figure finally. The results indicated that subsidence graph and three-dimensional simulated subsidence chart by ArcView could represent more quickly, briefly, accurately and more intuitively, vividly, truly than traditional means. For decision-makers or builders they can achieve subsidence and distortion information effectively in order to improve efficiency and precision. Thereby it can provide sustaining technique and decision-making basis. It is an effective measure to express subsidence observation results.

Key words: subsidence survey ; norm net ; building ; DEM ; three-dimensional model

(英文审定: 苏生瑞)